

# Streszczenie

Badania opisane w rozprawie pod tytułem „Optyczne własności cienkich warstw dichalkogenków metali przejściowych” dotyczą zjawisk fizycznych, które pojawiają się w granicy dwuwymiarowej miniaturyzacji, gdy grubość struktur osiąga skalę atomową. Znaczenie takich wytworzonych przez człowieka struktur dla zrozumienia podstawowych własności materiałów ujawniło się podczas dynamicznie rozwijających się badań nad grafenem: pojedynczej warstwie atomów węgla ułożonych w strukturę heksagonalną. Grafen, jako materiał bez przerwy energetycznej, był rozpatrywany głównie pod kątem własności elektrycznych. Badania materiałów półprzewodnikowych, również charakteryzujących się strukturą heksagonalną, dla których udało się odizolować pojedyncze warstwy, łączą nowe idee wywodzące się z odkrycia szczególnych cech grafenu (fizyka dolin w punkcie K strefy Brillouina) z wiedzą o bardziej typowych właściwościach półprzewodników. Rzeczywiście, nowego typu zjawiska zostały zademonstrowane w licznych, prowadzonych ostatnio, badaniach ultra-cienkich warstw półprzewodnikowych dichalkogenków metali przejściowych. Szczególnie interesujące, z punktu widzenia badań optycznych, wydaje się odkrycie zmiany charakteru przerwy energetycznej, która jest skośna w kryształach objętościowych, ale staje się prosta dla pojedynczej warstwy materiału. Opisane w tej pracy badania wykorzystują szczegółową charakteryzację optycznych własności cienkich struktur dichalkogenków metali przejściowych jako podstawę do rozważań na temat ich własności elektronowych. Manuskrypt składa się z pięciu części: trzech głównych rozdziałów poprzedzonych wstępem i uzupełnionych dodatkiem, w którym omówione zostały badania dotyczące innego przedstawiciela materiałów warstwowych: heksagonalnego azotku boru.

**Wstęp.** Przedstawione zostały podstawowe własności badanych kryształów, szczególnie istotne z punktu widzenia badań optycznych. Dyskusja obejmuje informacje o strukturze krystalicznej, strefie Brillouina i elektronowej strukturze pasmowej. Ponadto omówiono ogólnie proces wytwarzania próbek i główne cechy układów doświadczalnych.

**Rozdział 1. Podstawowe własności optyczne rezonansów ekscytonowych w pojedynczych warstwach i wielowarstwach półprzewodnikowych dichalkogenków metali przejściowych.** Przeanalizowano optyczną odpowiedź cienkich struktur dwuselenku molibdenu ( $\text{MoSe}_2$ ) i dwuselenku wolframu ( $\text{WSe}_2$ ), badaną poprzez pomiary widm odbicia i luminescencji. Szczegółowo zinterpretowano dane doświadczalne dotyczące wpływu liczby warstw oraz temperatury na energię i szerokość optycznych rezonansów. Uwzględniono także uzupełniające badania rozdzielone w czasie.

**Rozdział 2. Spektroskopia Zeemana rezonansów ekscytonowych w polu magnetycznym.** Zbadano wpływ pola magnetycznego, przyłożonego prostopadle do powierzchni badanych struktur, na przejścia optyczne. Na podstawie otrzymanych wyników opracowano fenomenologiczny model mający na celu opis liniowych z polem magnetycznym wkładów do energii indywidualnych stanów elektronowych w podstawowych podpasmach pojedynczych warstw dichalkogenków metali przejściowych. Ponadto przeanalizowano efekty związane z pompowaniem optycznym w pojedynczych warstwach  $\text{WSe}_2$ , którego wydajność można zwiększyć poprzez przyłożenie niewielkiego pola magnetycznego.

**Rozdział 3. Źródła pojedynczych fotonów w cienkich warstwach półprzewodnikowych dichalkogenków metali przejściowych.** Przedyskutowano odkrycie centrów emitujących światło w postaci cienkich linii widmowych w eksfoliowanych strukturach dichalkogenków metali przejściowych. Optyczne badania dostarczyły informacji o ich podstawowych własnościach. Przedstawione badania dotyczą wpływu temperatury i pola magnetycznego na optyczną odpowiedź emitujących centrów, własności polaryzacyjnych oraz widm pobudzania jak również pomiarów korelacji fotonów.

**Dodatek A. Emitery pojedynczych fotonów w kryształach azotku boru.** Heksagonalny azotek boru również należy do rodziny materiałów warstwowych, lecz charakteryzuje się znacznie większą przerwą energetyczną niż dichalkogenki metali przejściowych. Centra emitujące wąskie linie widmowe także zostały zaobserwowane w strukturach azotku boru. Wykazują one cechy upodabniające je do barwnych centrów w innych materiałach szeroko-przerwowych. Emitery w azotku boru zostały scharakteryzowane podobnie jak emitery w kryształach  $\text{WSe}_2$ .